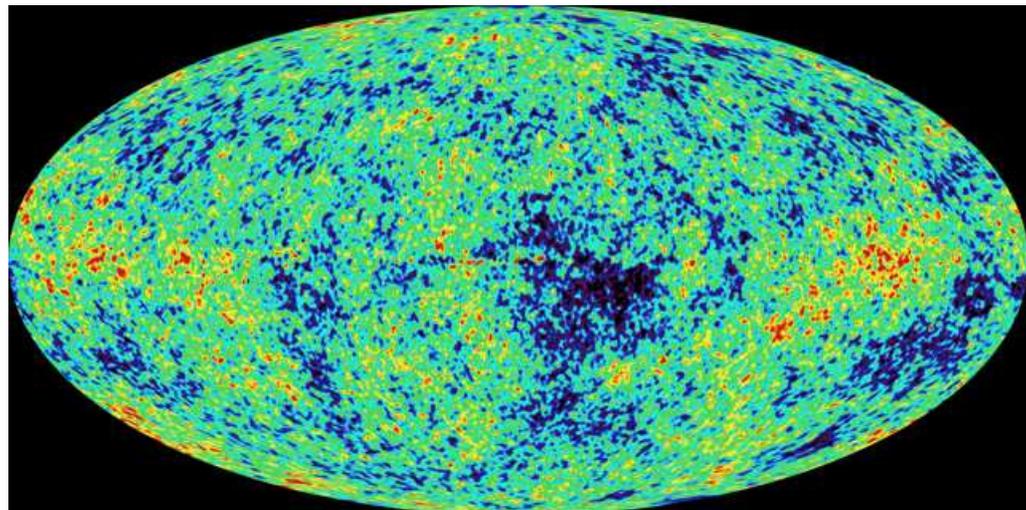
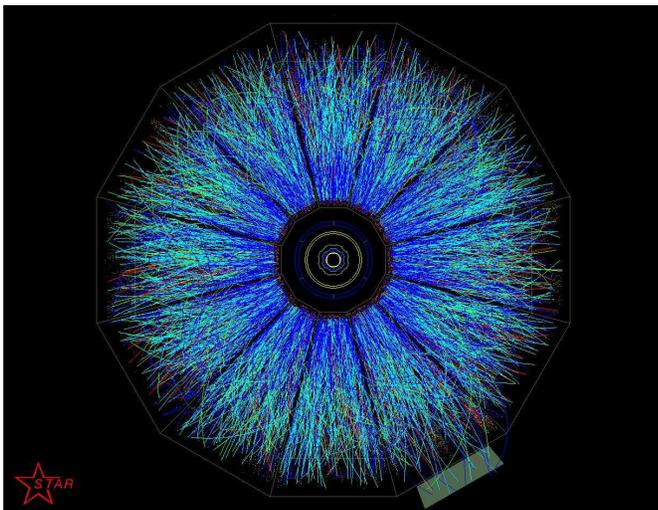


# Vom „Little Bang“ zum „Big Bang“

## *Teilchen, Urknall und theoretische Physik*

Hendrik van Hees  
Fakultät für Physik  
Universität Bielefeld

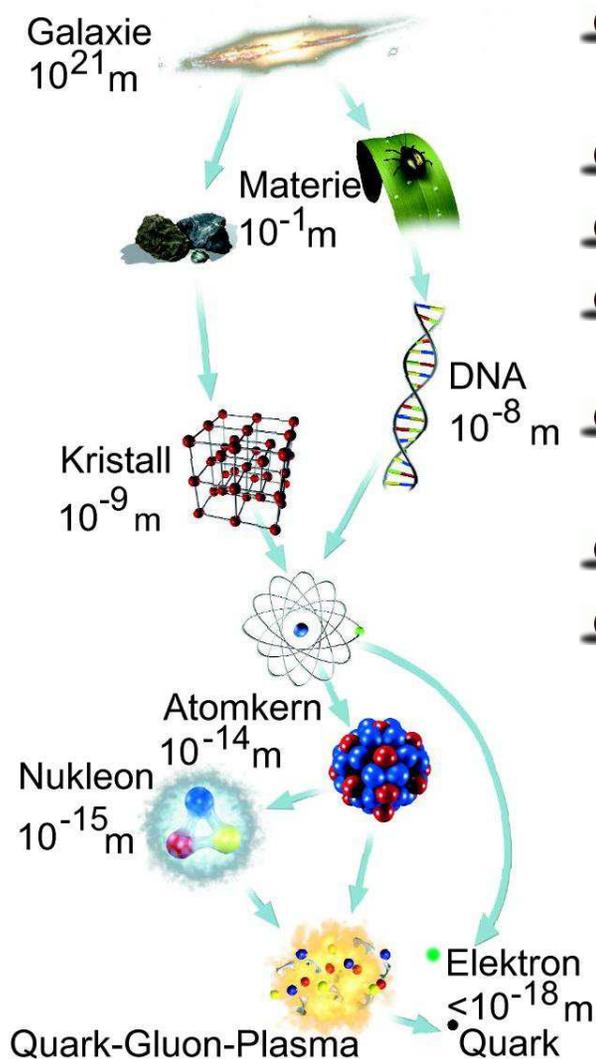
<http://theory.gsi.de/~vanhees/index.html>



# Inhalt

- „Little Bang“: Teilchenphysik
  - Das Standardmodell der Elementarteilchen
    - Quarks, Leptonen, Felder
    - Higgs-Teilchen
    - Relativitätstheorie und Quantentheorie
  - Schwere Ionen
    - Das Quark-Gluon-Plasma
- „Big Bang“: Kosmologie
  - Das Universum als Ganzes
    - Das Universum im Groben: Totale Symmetrie!
    - Kleine Abweichungen von der Symmetrie: Neue Daten aus dem All
    - Allgemeine Relativitätstheorie
  - Astro-Teilchenphysik
    - Wie paßt das alles zusammen?
  - Was wir (noch?) nicht wissen
    - Warum sind wir überhaupt da?
    - Woraus besteht die „dunkle Materie“?
    - Warum gibt es „dunkle Energie“?

# Größenordnungen



- Beobachtete und durch die Physik erklärable Größenordnungen
  - Materie besteht aus Molekülen
  - Moleküle setzen sich aus Atomen zusammen
  - Atome setzen sich aus Atomkern und Elektronen zusammen
  - Atomkerne setzen sich aus Protonen und Neutronen (= Nukleonen) zusammen
  - Nukleonen setzen sich aus Quarks zusammen
  - Quarks und Elektronen: Bis jetzt keine weitere Unterstruktur entdeckt
- Aber:** Nur begrenzte Energie verfügbar  $\Rightarrow$  Auflösung begrenzt auf bisher  $\approx 10^{-18}$  m

# Quantentheorie

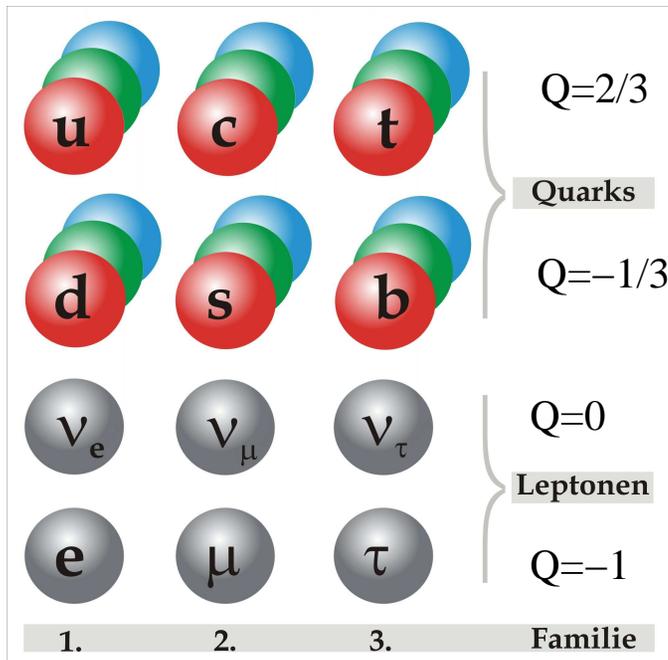
- Beobachtung: Materie erscheint in diskreten **Quanten**
- Quantisierte Größen: **Masse, Ladung, . . .**
- Einfluß von Messungen kann prinzipiell nicht beliebig klein werden
- Die genaue Messung einer Größe kann die Festlegung einer anderen Größe **unmöglich** machen:
- **Heisenbergsche Unschärferelation**

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

- Je genauer man den Ort eines Teilchens festlegt, desto ungenauer ist der Impuls (Geschwindigkeit) des Teilchens bestimmt und umgekehrt
- **Je kleinere Abstände** man auflösen will, desto größer muß die Energie der Teilchen sein!
- Quantentheorie wurde um 1925 entwickelt von **Heisenberg, Schrödinger, Dirac, . . .**
- **Alle** (bekannten) Naturerscheinungen werden durch die Quantentheorie korrekt beschrieben!

# Das Standardmodell I

- Relativitätstheorie = Theorie von **Raum und Zeit**
- Relativitätstheorie + Quantentheorie: **Quantenfeldtheorie**
- Beschreibt **Reaktionen zwischen Teilchen**
- Teilchen können jederzeit **erzeugt und wieder vernichtet** werden!



## Marieteilchen

- Zu jedem Teilchen gibt es ein **Antiteilchen** gleicher Masse, aber umgekehrter Ladung
- **Quarks:**
  - noch nie als freie Teilchen beobachtet
  - Bilden **Baryonen** aus drei Quarks oder **Mesonen** aus Quark + Antiquark
  - Bis jetzt viele 100 (!) Baryonen entdeckt
  - Alle Baryonen sind **farblos!**
- **Leptonen**
  - alle als freie Teilchen entdeckt

# Standardmodell II

- Die **Kräfte** werden durch **Felder** vermittelt
- Quantenfeldtheorie: Felder beschreiben auch **Teilchen!**
- Vermitteln zwischen Teilchen, die die entsprechende **Ladung** tragen
- drei Grundkräfte
  - elektromagnetische Kraft (wirkt zwischen elektrischen Ladungen)
  - schwache Kraft (wirkt zwischen schwachen Ladungen)
  - starke Kraft (wirkt zwischen Farbladungen)
- Gravitation: Spezialfall  $\Rightarrow$  später!

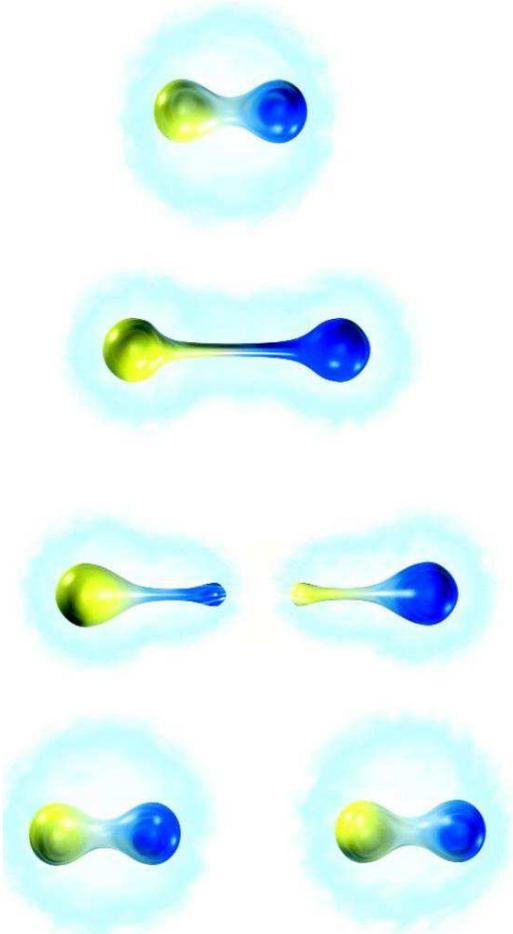
| Teilchen        | Kraft              | Masse                | em. Lad. | schw. Lad. | Farblad. |
|-----------------|--------------------|----------------------|----------|------------|----------|
| Photon $\gamma$ | elektromagnetische | 0                    | 0        | 0          | 0        |
| $W^+, W^-$      | schwache Kraft     | $80 \text{ GeV}/c^2$ | $\pm 1$  | ja         | 0        |
| $Z^0$           | schwache Kraft     | $91 \text{ GeV}/c^2$ | 0        | ja         | 0        |
| 8 Gluonen       | starke Kraft       | 0                    | 0        | 0          | ja       |

- Spezielles Teilchen: **Higgsboson**
- verantwortlich für die Masse der Teilchen
- Rein mathematische Vorhersage: noch nicht entdeckt!

# Die Gefangenschaft der Quarks

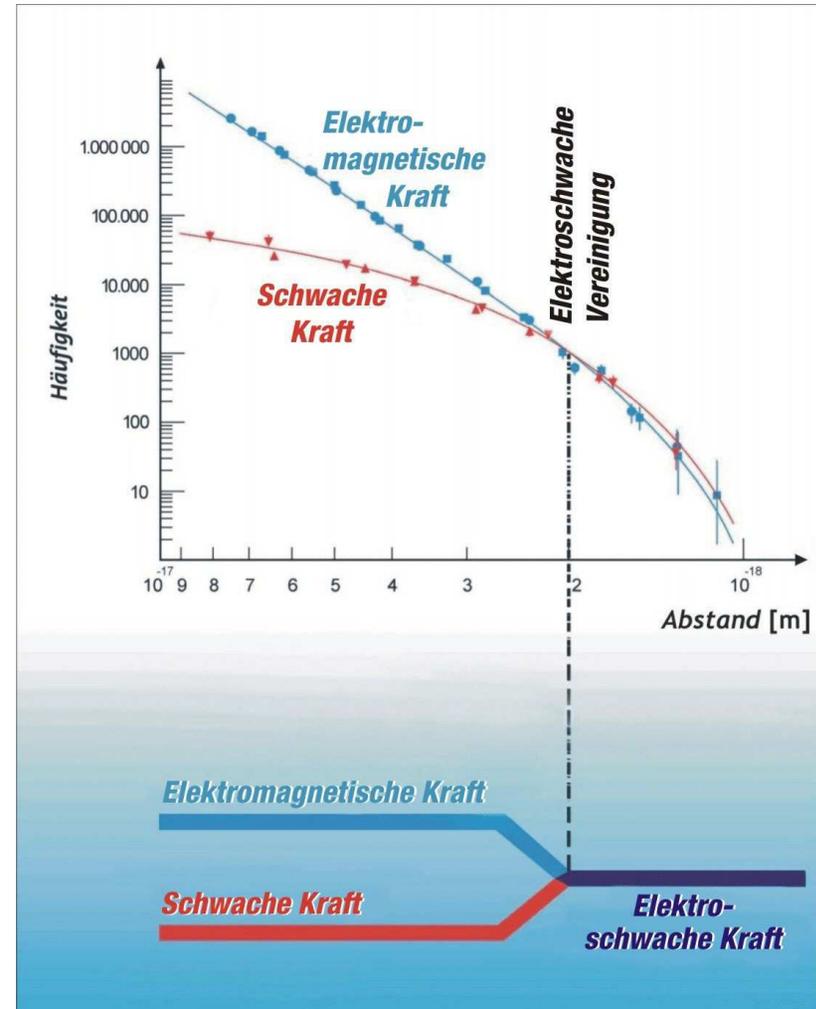
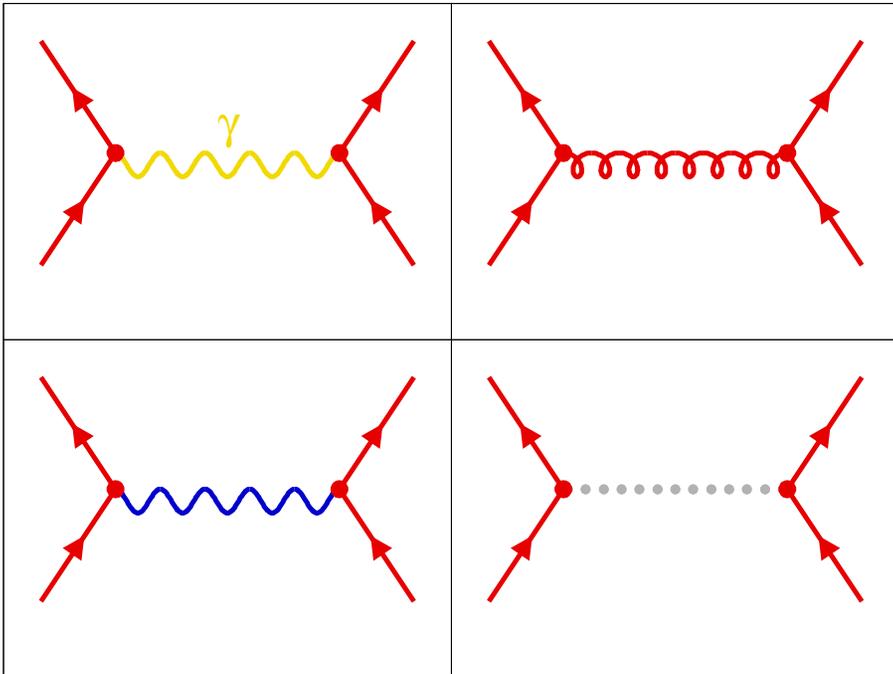
- Gluonen tragen Farbe  $\Rightarrow$  **Confinement der Quarks**
- Quarks immer zu **farblosen Objekten** gebunden

- Grund: Starke Kraft zwischen den Quarks wird immer größer, je weiter man die Quarks entfernen will
- Quarks können nicht „getrennt“ werden
- Stattdessen entstehen spontan **neue Quark-Antiquark-Paare**
- Insgesamt werden wieder **farblose Hadronen** erzeugt!
- **Andererseits: Packt man Quarks und Gluonen dicht zusammen**, wird die starke Kraft schwächer.
- Idee: In **hochenergetischen Zusammenstößen von schweren Atomkernen** entsteht ein **Quark-Gluon-Plasma**
- Plasma: „Gas“ aus elektrisch geladenen Teilchen (Bsp: **Blitze!**)  
hier: Gas aus Teilchen mit Farbladung



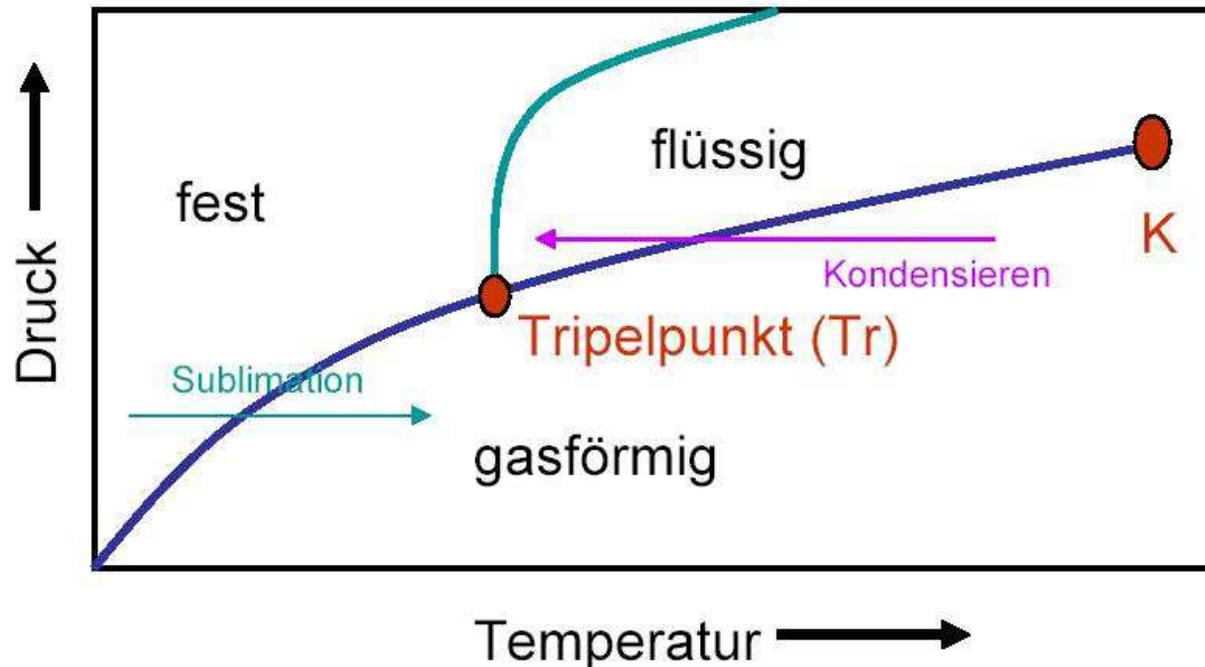
# Die „running couplings“

- Die Kopplungskonstanten der drei Kräfte hängen von der **Stoßenergie der Teilchen** ab



# Phasenübergänge beim Wasser

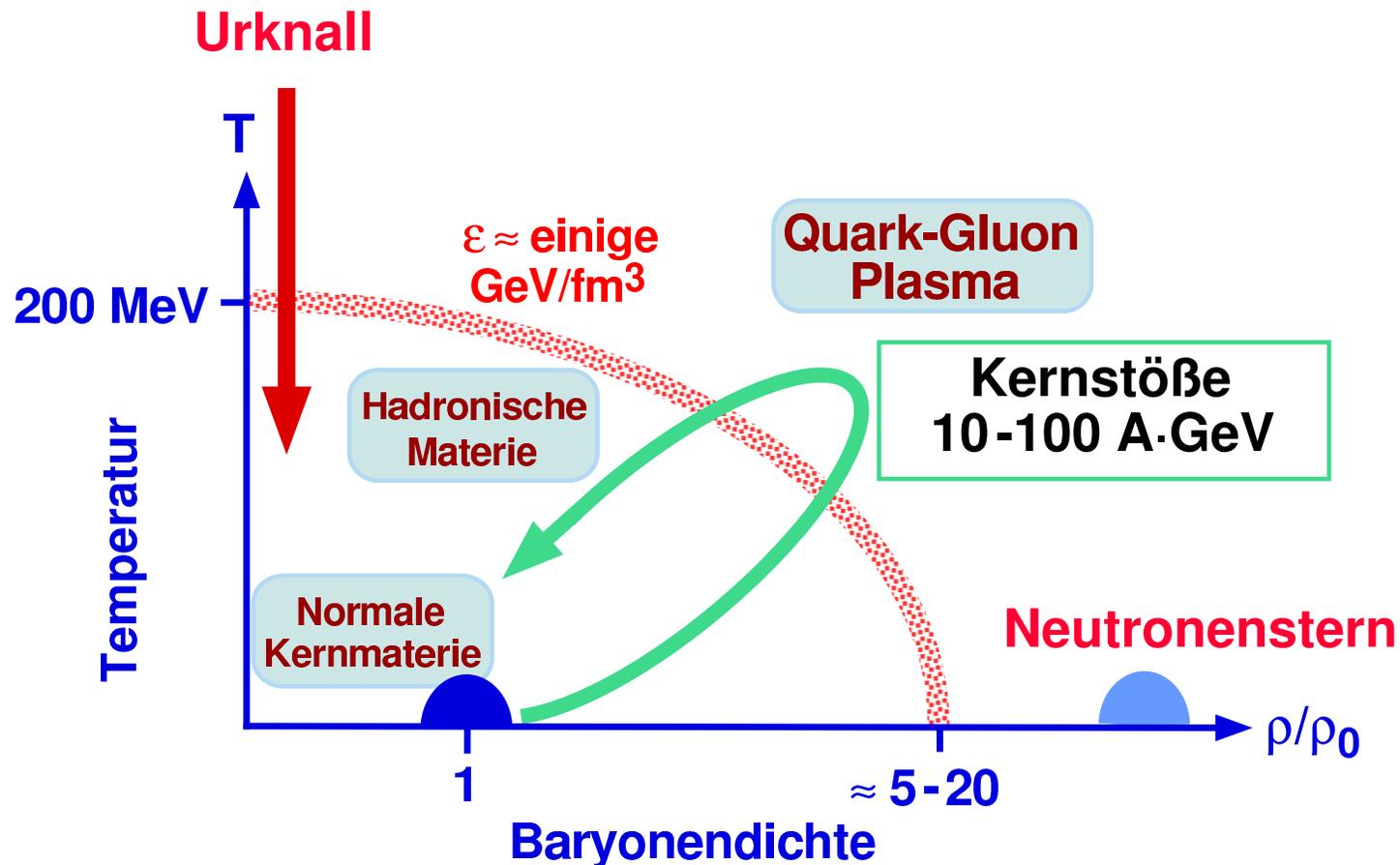
- Beispiel für **Phasenübergang**: **Eis** schmilzt bei Erwärmung zu Wasser, das bei noch höheren Temperaturen zu Dampf (Gas) wird



- Bei noch höheren Temperaturen: Wassermoleküle  $H_2O$  **zerbrechen in Atome**
- Noch weiter aufgeheizt: Atome und Elektronen trennen sich  $\Rightarrow$  Übergang zum **Plasma** aus Elektronen + Prototonen (=Wasserstoffkerne) + Sauerstoffkernen
- Phasenübergänge bedeuten Änderung der **Ordnungsstruktur** der Teilchen

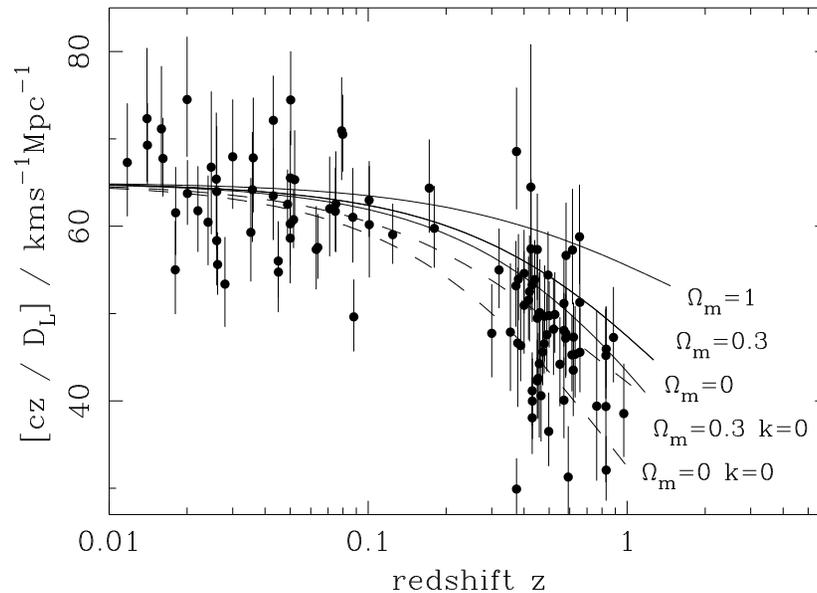
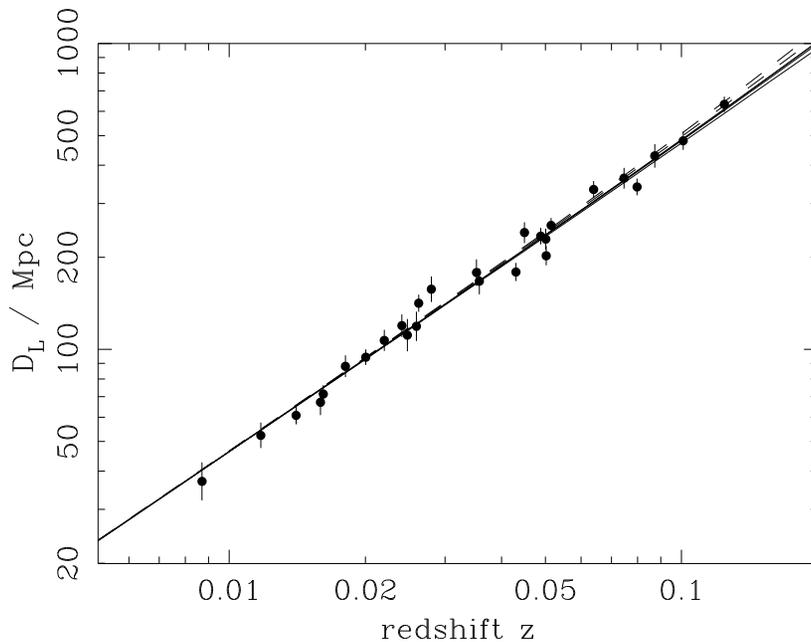
# Phasenübergang beim „Little Bang“

- Hochenergetischer Stoß schwerer Ionen (= schwere Atomkerne) → ergibt viele Teilchen bei hoher Temperatur
- Theoretische Vorhersage aus sog. Gitter-QCD-Rechnungen



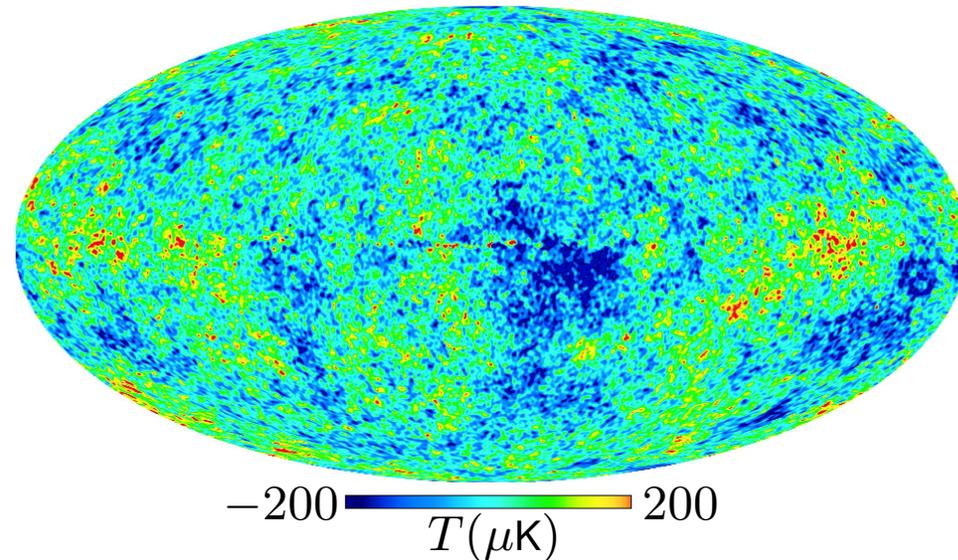
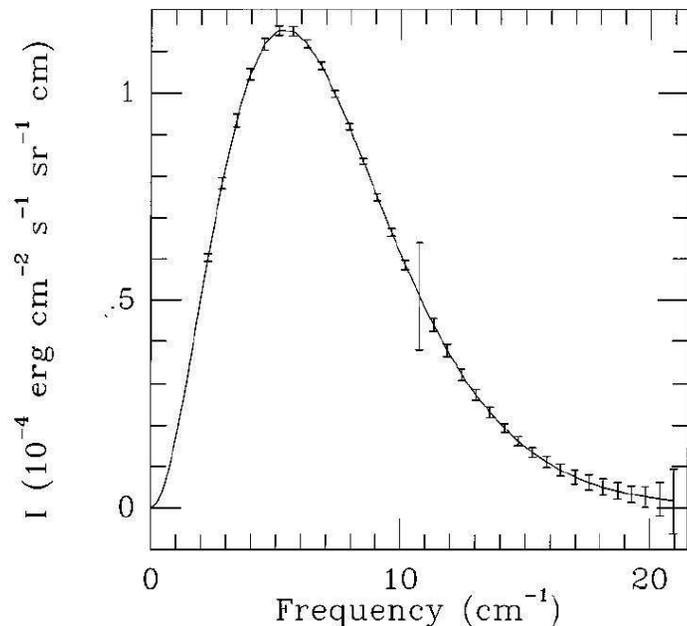
# Einsteins Universum

- Alle Körper fallen gleich schnell
- Einsteins Idee (1915): **Gravitation = Raum-Zeit-Krümmung**
- Struktur von Raum und Zeit ändern sich je nach Materieinhalt und deren Bewegung
- **Hubble (1929): Alle Galaxien bewegen sich voneinander weg**, umso schneller je weiter sie weg sind
- Atome überall gleich  $\Rightarrow$  strahlen immer gleiches Licht ab  $\Rightarrow$ : Licht bewegt sich durch **expandierenden Raum**  $\Rightarrow$  Wellenlänge wird größer  $\Rightarrow$  **Rotverschiebung**

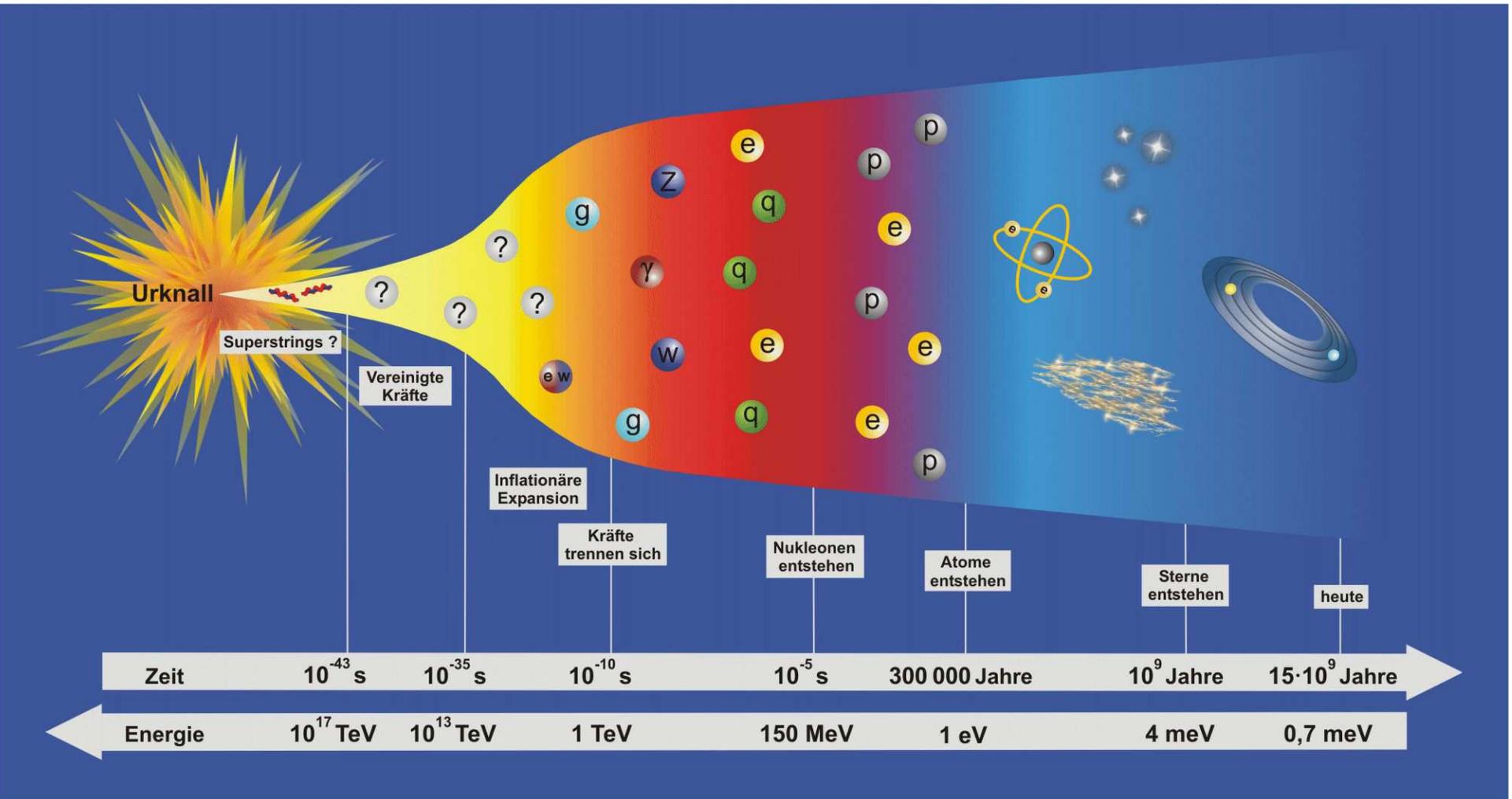


# Der „Big Bang“

- Raum muß irgendwann sehr klein gewesen sein  $\Rightarrow$  Idee vom Urknall (Lemaître)
- Kosmologisches Prinzip: Im Universum gelten überall die gleichen Naturgesetze: Das Universum sieht im wesentlichen überall gleich aus!
- Beweis: Kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung (Penzias und Wilson); das ist die Wärmestrahlung, die vom Urknall bis heute erhalten geblieben ist
- Heutige Temperatur  $2.7K$  ( $2.7^\circ C$  über dem absoluten Nullpunkt)
- Heute: Präzisionsdaten von Satelliten (dieses Jahr WMAP Satellit)



# Die Geschichte des Universums



**...und bin so klug als wie zuvor**

# Quellen- und Bildnachweis

- STAR-Kollaboration am RHIC, Brookhaven National Laboratory, [URL](#), p. 1
- C. L. Bennet *et al.* First Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Preliminary Maps and Basic Results *Astrophys. J. Suppl.* **148** (2003) 1  
[fr.arXiv.org/abs/astro-ph/0302207](http://fr.arXiv.org/abs/astro-ph/0302207): pp. 1, 12
- Komitee für Hadronen- und Kernphysik KHuK (Hg.), Hadronen- und Kernphysik - Status und Perspektiven (2003), [URL](#), pp. 3, 7
- Komitee für Elementarteilchenphysik KET, Teilchenphysik in Deutschland - Status und Perspektiven (2002), [URL](#), pp. 5, 8, 13
- Chr. E. Nebel, Physik für Chemieingenieure und Restauratoren, Vorlesungsskript TU München (2003), [URL](#): p. 9
- H. Büsching, Untersuchung nichtlinearer Effekte im Bleiglaskalorimeter LEDA - Eine Computersimulation, Diplomarbeit, Westfälische Wilhelms-Universität Münster (1997): p. 10
- K. Hagiwara *et al.*, Review of Particle Physics, *Phys. Rev. D* **66**, 010001 (2002),  
[pdg.lbl.gov/index.html](http://pdg.lbl.gov/index.html): p. 11
- M. S. Turner, J. A. Tyson, Cosmology at the Millenium, *Mod. Rev. Phys.* **71** (1999) S145: p. 12